

## RANCANGAN PERBAIKAN *STOPCONTACT* MELALUI PENDEKATAN METODE DFMA (*DESIGN FOR MANUFACTURING AND ASSEMBLY*) PADA PT. XYZ

Yogi Khairi Hasibuan<sup>1</sup>, A. Jabbar M. Rambe<sup>2</sup>, Rosnani Ginting<sup>3</sup>

Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

Jl. Almamater Kampus USU, Medan 20155

Email: yogikhairihasibuan@yahoo.com<sup>1</sup>

Email: a.jabbar@usu.ac.id<sup>2</sup>

Email: rosnani\_usu@yahoo.co.id<sup>3</sup>

**Abstrak.** Desain memegang peran yang penting dalam memproduksi produk *stopcontact*, hal ini dikarenakan desain berhubungan langsung dengan proses manufaktur dan proses perakitannya. Desain yang lebih sederhana akan meningkatkan efisiensi penggunaan waktu yang berujung pada penurunan biaya perakitan yang dibutuhkan. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengevaluasi desain produk *stopcontact* 754 yang ada pada saat ini dengan menggunakan metode *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA). *Design For Manufacturing and Assembly* (DFMA) adalah sebuah pendekatan yang digunakan untuk membantu perancang menentukan rancangan produk dan metode perakitan *stopcontact* 754 dengan waktu dan biaya yang optimum namun tidak meninggalkan keinginan pasar dan fungsionalitas produk. Pada awal penelitian dilakukan pengukuran waktu dengan metode *stopwatch time study* untuk mengetahui waktu perakitan. Selanjutnya adalah melakukan perbaikan rancangan *stopcontact* 754 untuk mereduksi waktu perakitan serta biaya perakitan yang dibutuhkan untuk setiap unitnya. Perbaikan rancangan dilakukan dengan melakukan proses eliminasi dan kombinasi komponen-komponen yang tidak memberikan nilai tambah pada produk tersebut seperti baut 3323-A, baut 3323-AP dan kaleng *fixture* 7544. Selanjutnya dari hasil perbaikan rancangan disusun kembali urutan perakitan, sehingga menghasilkan urutan perakitan yang paling optimal dengan pengembangan *assembly process chart*. Perbaikan rancangan dengan DFMA menunjukkan bahwa waktu perakitan berkurang hingga 19.57%, jumlah komponen berkurang hingga 25.53% serta biaya total perakitan berkurang hingga 19.14%.

**Kata Kunci:** Rancangan Perbaikan, DFMA

**Abstract.** The design holds an important role in producing product *stopcontact*. This is because the design is directly related to the manufacturing process and assembly process. A more simple design will increase the efficiency of use of time which resulted in a decrease in the cost of assembly required. This research is intended to evaluate product design in *stopcontact* 754 is currently using a method of *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA). *Design For Manufacturing and Assembly* (DFMA) is an approach used to help designers determine the design of the product and assembly method with the optimum time and cost but does not leave desires of the market and product functionality. The method was *stopwatch time study* to know the time of assembly. Next up is make improvements to reduce assembly time and assembly cost *stop contact* 754 are required for each unit. Repairs carried out by design do process of elimination and the combination of components that do not add value to the product like bolt 3323-A, 3323-AP and bolt the can *fixture* 7544. Further improvement of the draft order is rearranged, thus generating assembly sequence of the most optimal assembly with development *assembly process chart*. DFMA design improvements with indicates that the assembly time reduced to 19.57%, reduced to the number of components as well as total costs 25.53% Assembly reduced to 19.14%.

**Keywords:** Repair Design, DFMA

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang sangat pesat di dunia industri, menyebabkan terjadinya perubahan yang cepat pula di dunia usaha. Untuk dapat mengikuti arus persaingan, perusahaan dituntut untuk terus berinovasi dan menciptakan produk yang berkualitas. Hal ini menyebabkan industri manufaktur dipaksa untuk menghasilkan produk yang dapat memenuhi kebutuhan pelanggan dengan harapan yang sangat tinggi terhadap fungsi produk, tetapi dengan biaya yang lebih rendah. Jadi, para desainer harus mampu merancang produk dengan fungsi yang maksimal, sehingga dapat memenuhi kebutuhan pelanggan. Dalam satu dekade terakhir yang menjadi ciri utama dalam proses inovasi adalah melakukan proses eliminasi ataupun kombinasi terhadap komponen produk yang tidak diperlukan atau komponen yang tidak mengandung nilai tambah sehingga proses pengerjaan produk menjadi lebih sederhana. Inovasi produk ini memiliki dampak yang besar bila ditinjau dari sisi produktivitas, biaya dan kualitas (Luchetta, G. 2004).

PT XYZ merupakan sebuah perusahaan swasta yang bergerak dalam bidang usaha *manufacturing* penghasil komponen-komponen atau alat-alat listrik. Perusahaan ini memproduksi sebanyak 50 jenis produk yang terbagi ke dalam 5 *family product*. Salah satu produk hasil produksi dari perusahaan ini yang akan diangkat menjadi contoh rancangan perbaikan adalah *stopcontact* 754 yang diproduksi dengan sistem *make-to-stock*. Produk ini dipilih karena salah satu produk andalan dari PT XYZ dengan waktu perakitan yang paling panjang diantara produk-produk yang lainnya.

Dalam proses perakitan *stopcontact* 754 ini, PT XYZ menghadapi beberapa masalah, antara lain adalah proses perakitan yang rumit akibat adanya komponen-komponen penyusun produk yang sebenarnya tidak diperlukan atau komponen yang tidak mengandung nilai tambah dan ukuran komponen yang kecil sehingga memerlukan ketelitian yang tinggi. Hal ini berhubungan dengan proses perakitan yang memerlukan waktu dengan rata-rata 15.5 menit untuk setiap unitnya. Dengan desain yang ada saat ini PT XYZ hanya mampu memenuhi permintaan pasar sekitar 67% dari rata-rata permintaan setiap bulannya. Untuk dapat mempertahankan dan bahkan meningkatkan pangsa pasar, saat ini perusahaan mengeluarkan kebijakan subkontrak untuk proses perakitan komponen pada bagian dalam *stopcontact*. Apabila sistem perakitan dapat dioptimalkan melalui eliminasi atau kombinasi kegiatan atau komponen yang tidak mengandung nilai tambah, maka waktu yang dibutuhkan pada proses perakitan menjadi lebih minimum dan permintaan dapat dipenuhi, sehingga kebijakan subkontrak tidak perlu digunakan. Jadi, jika perbaikan rancangan ini juga dilakukan terhadap produk-produk hasil produksi PT

XYZ yang lainnya, maka akan memberikan dampak yang signifikan terhadap pengurangan waktu perakitan dan juga *unit cost* dalam proses produksi untuk produk-produk lainnya.

Hal inilah yang dipandang sebagai suatu masalah yang terdapat pada perusahaan untuk dicari pemecahannya agar perusahaan mampu untuk tetap bertahan dalam persaingan. *Design For Manufacturing and Assembly* (DFMA) adalah sebuah pendekatan yang digunakan untuk membantu menentukan rancangan produk dan metode perakitan *stopcontact* 754 dengan waktu dan biaya yang optimum. DFMA juga dapat digunakan untuk membantu perancang dalam meningkatkan kualitas, mengurangi biaya perakitan, serta untuk mengukur perbaikan desain dari produk *stopcontact* 754. Tujuan dari DFMA ini adalah untuk menentukan desain produk yang benar-benar dapat menghilangkan komponen-komponen yang sebenarnya tidak diperlukan atau komponen yang tidak memiliki nilai tambah dalam memproduksi produk berdasarkan pada fungsi yang diinginkan konsumen. Dimana nilai ekspektasi tertinggi dapat diperoleh dengan memberikan fungsi yang maksimum dan biaya yang serendah mungkin. Serta, DFMA juga digunakan untuk mempelajari proses dan produk pesaing dari sisi desain, kualitas, pemilihan material, komponen, proses produksi dan kemudian mengevaluasi perakitan dan/atau kesulitan manufaktur dalam upaya merancang produk unggulan berdasarkan hasil dari analisis rinci.

Penelitian yang membahas tentang rancangan perbaikan produk dapat dilihat pada penelitian Zainab, Sarifah (2010) yang memperbaiki produk *Ice cream scoop*. Dalam pengembangan produknya peneliti menggunakan metode integrasi DFMA dengan TRIZ. Pada desain awal produk *ice cream scoop* mengandung 15 komponen penyusun produk dengan total waktu perakitan 167.11 detik, biaya perakitan 0.158 RM dan dengan efisiensi desain sebesar 12.57%. Setelah dilakukan perbaikan terhadap rancangan awal dengan menggunakan integrasi metode DFMA dan TRIZ didapatkan peningkatan yang cukup signifikan dari desain baru *ice cream scoop* dengan 5 komponen penyusun produk, total waktu perakitan 28.38 detik, biaya perakitan 0.028 RM dan efisiensi desain sebesar 52.85%. Penelitian serupa juga pernah dilakukan oleh Afzan (2010) yang memperbaiki produk *kano price labeller*. Dalam pengembangan produknya peneliti menggunakan metode integrasi DFMA dengan TRIZ. Pada desain awal produk *kano price labeller* mengandung 23 komponen penyusun produk dengan total waktu perakitan 274.55 detik, biaya perakitan 26.69 RM dan dengan efisiensi desain sebesar 22.95%. Setelah dilakukan perbaikan terhadap rancangan awal dengan menggunakan integrasi metode DFMA dan TRIZ didapatkan peningkatan yang cukup signifikan dari desain baru *kano price labeller* dengan 18 komponen

penyusun produk, total waktu perakitan 137.94 detik, biaya perakitan 13.41 RM dan efisiensi desain sebesar 36.97%. Hal ini menunjukkan bahwa perbaikan rancangan produk sangat berpengaruh terhadap lamanya waktu perakitan, biaya perakitan dan juga efisiensi perakitan.

Diharapkan pendekatan metode *Design for Manufacturing and Assembly* dapat memberikan solusi yang tepat untuk perbaikan rancangan produk *stopcontact* 754 dan juga produk-produk lainnya pada PT XYZ. Sehingga menghasilkan desain yang benar-benar bebas dari komponen yang tidak mengandung nilai tambah dengan waktu perakitan yang singkat, unit cost yang minimal dan tanpa mengubah nilai dari produk-produk perusahaan tersebut.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di PT XYZ yang bergerak dalam bidang produksi komponen-komponen dan alat-alat listrik yang berlokasi di Kecamatan Medan Sunggal KM 10.5 Kabupaten Deli Serdang. Penelitian ini dilakukan dalam bentuk penelitian deskriptif, yaitu suatu jenis penelitian yang bertujuan untuk mendeskripsikan secara sistematis, faktual dan akurat tentang fakta-fakta dan sifat-sifat suatu objek atau populasi tertentu (sinulingga, 2011). Penelitian ini juga merupakan *action research* yang merupakan penelitian yang bertujuan untuk mendapatkan suatu solusi yang akan diaplikasikan pada perusahaan sebagai bentuk perbaikan dari sistem semula. Data yang dikumpulkan berupa data komponen penyusun produk, urutan perakitan, *rating factor*, *allowance* dan data waktu proses perakitan yang diambil melalui proses observasi dan wawancara dengan pihak perusahaan. Alat yang digunakan untuk mengumpulkan adalah stopwatch, lembar pengamatan serta alat tulis.

Variabel yang diukur ditentukan berdasarkan atas studi pendahuluan, studi kepustakaan dan pengalaman pihak perusahaan yang berkaitan dengan permasalahan yang sedang dihadapi (Sinulingga, S. 2011). Adapun variabel-variabel yang terdapat dalam penelitian ini antara lain adalah Jumlah *part*/ komponen, Urutan *Assembly*, *Assembly Time*, *Effisiensi Design* dan *Assembly Cost* (Boothroyd, 2002).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Analisis Pengukuran Waktu

Pengukuran waktu dilakukan terhadap 15 elemen kegiatan perakitan produk *stopcontact*, yang dikerjakan oleh 5 orang operator yang terbagi ke dalam 2 stasiun kerja. Waktu yang diukur adalah waktu dari operator

yang bekerja secara normal ( $R_f=1$ ). Untuk stasiun kerja I operator normal adalah operator 1 dan untuk stasiun kerja II operator normal adalah operator 2. Dari kedua operator tersebut diambil data waktu perakitan sehingga diperoleh waktu standar untuk merakit setiap unit *stopcontact* 754 dari desain produk awal adalah 15.522 menit/unit. Adapun hasil pengukuran waktu perakitan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Waktu Normal dan Waktu Baku (menit) Proses Perakitan *Stopcontact* 754

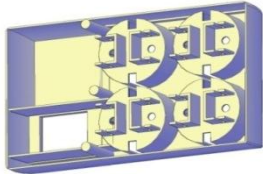
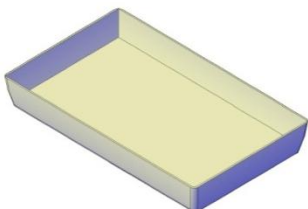
Work Center	Elemen	WN	WB
I	1	0.504	0.622
	2	1.570	1.938
	3	0.852	1.052
	4	0.272	0.336
	5	0.829	1.023
	6	0.373	0.460
	7	0.312	0.385
	8	0.341	0.421
	9	0.416	0.514
II	10	2.099	2.624
	11	1.833	2.291
	12	0.194	0.243
	13	1.948	2.435
	14	0.347	0.434
	15	0.596	0.745
TOTAL			15.522

Menurut Wignjosoebroto (1995), berdasarkan waktu baku tersebut dapat dihitung output standar produk *stopcontact* 754 per hari adalah 27 unit *stopcontact* 754. Kondisi seperti ini disebabkan oleh masih adanya komponen yang sebenarnya tidak diperlukan sehingga menghasilkan kegiatan-kegiatan yang tidak memberikan nilai tambah seperti yang ditemukan pada proses perakitan yang mempengaruhi waktu perakitan (Luchetta, 2004). Ada beberapa sumber pemborosan waktu atau kegiatan yang tidak memberikan nilai tambah pada proses perakitan *stopcontact* 754 antara lain adalah mengubah posisi benda, penggunaan *fastener* dan mengarahkan *fastener* ke lubang *insertion* dan penundaan pada *subassembly* yang telah dirakit. Jika hal tersebut dapat diminimalisasi maka akan dapat memberikan dampak positif dari segi pengurangan waktu yang dibutuhkan untuk perakitan setiap unit komponen.

### 3.2. Analisis Perancangan dengan DFMA

Ada beberapa prinsip yang harus dipenuhi dalam melakukan perancangan untuk memperbaiki suatu proses perakitan antara lain adalah menyederhanakan dan mengurangi jumlah komponen, standarisasi dan menggunakan komponen dengan bahan yang seragam, desain untuk kemudahan perakitan dengan memanfaatkan pola sederhana dari gerakan dan meminimalkan jumlah sumbu perakitan, desain untuk gabungan dan efisiensi *fastener* serta desain produk modular untuk perakitan (Magrab, 2010). Berdasarkan pada prinsip-prinsip tersebut maka dapat dilakukan suatu perbaikan rancangan dengan menggunakan metode *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA) melalui pengembangan, kombinasi atau eliminasi komponen yang tidak diperlukan ataupun komponen yang tidak mengandung nilai tambah (Boothroyd, 2002). Pada Tabel 2. akan diuraikan komponen-komponen yang dapat dikembangkan, kombinasi ataupun dieliminasi dari produk *Stopcontact* 754.



Tabel 2. Identifikasi Komponen Penyusun Produk *Stopcontact* 754

No.	Nama Komponen	Gambar Komponen
1	Body 754-A	
2	Body 754-B	

Pada konsep desain awal produk *stopcontact* 754, komponen *body* atas 754-A dan komponen *body* bawah 754-B menggunakan *fastener* untuk mengikat kedua komponen tersebut. The Society of Manufacturing Engineers (SME) merekomendasikan untuk menggunakan prinsip dari *design for assembly* yaitu “merancang komponen dengan fitur penambat (*snap-fits*, *press-fit*) dan merancang komponen yang sesuai dengan lokasi fitur” (Eggert, 2005). Berdasarkan pada prinsip perancangan tersebut, maka untuk perbaikan rancangan komponen *body* atas 754-A dan komponen *body* bawah 754-B yang

pada awalnya menggunakan *fastener* maka akan diganti dengan konsep *snap-fits* sehingga tidak memerlukan proses pengencangan yang dapat menyebabkan waktu perakitan menjadi panjang.

Tabel 2. Identifikasi Komponen Penyusun Produk *Stopcontact* 754 (Lanjutan)

No.	Nama Komponen	Gambar Komponen
10	Kaleng Fixture 7544	
11	Kaleng Fixture 7545	

Berdasarkan rekomendasi dari The Society of Manufacturing Engineers (SME) untuk memperbaiki rancangan dari komponen kaleng *fixture* 7544 dan 7545, ada beberapa prinsip yang dapat digunakan. Adapun prinsip-prinsip tersebut antara lain adalah “meminimalkan jumlah komponen, menggunakan perakitan modular atau menggunakan komponen standar sehingga tidak banyak variasi komponen” (Eggert, 2005). Maka berdasarkan pada prinsip tersebut dilakukan perbaikan terhadap rancangan komponen kaleng *fixture* 7544 dan 7545 dengan cara mengkombinasikan antara kedua komponen tersebut, sehingga dapat mengurangi jumlah serta variasi dari komponen yang akan dirakit yang bertujuan agar dapat mempermudah operator pada saat perakitan (Boothroyd, 2002). Pada konsep desain awal, jumlah komponen tersebut digunakan sebanyak 6 unit. Namun, setelah dilakukan perbaikan terhadap desainnya komponen yang dibutuhkan berkurang menjadi 4 unit.

16 Baut 3323-A



17      Baut 3323-AP

Tabel 2. Identifikasi Komponen Penyusun Produk *Stopcontact* 754 (Lanjutan)

No.	Nama Komponen	Gambar Komponen
<p>Pada konsep awal desain, komponen baut 3323-A dan baut 3323-AP digunakan untuk mengikat <i>body</i> atas 754-A dan <i>body</i> bawah 754-B serta lempeng tembaga 7543. Namun, penggunaan <i>fastener</i> pada proses perakitan memerlukan banyak waktu (Boothroyd, 2002). Untuk mengatasi hal tersebut ada beberapa solusi yang dapat diberikan antara lain adalah “menggunakan pengencang besar lebih banyak daripada pengencang kecil, menggunakan variasi jenis pengencang yang minimum, dan merancang komponen dengan konsep fitur penambat (<i>snap-fit</i>, <i>press-fit</i>)” (Magrab, 2010) Dengan demikian berdasarkan pada solusi yang tersebut komponen baut 3323-A dan baut 3323-AP akan dieliminasi dan kemudian akan digantikan dengan menggunakan fitur penambat (<i>snap-fit</i>).</p>		

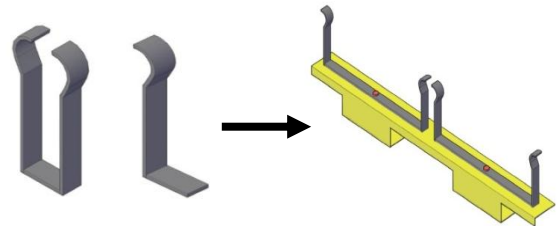
Dari identifikasi terhadap komponen penyusun produk *stopcontact* 754 yang telah dilakukan, ternyata ada beberapa komponen yang dapat diperbaiki, dikombinasi maupun dieliminasi untuk mengoptimalkan proses perakitan dari segi waktu dan biaya. Hal ini sejalan dengan metode kerja perakitan *stopcontact* 754 yang belum optimal karena masih ada beberapa elemen kegiatan yang sebenarnya tidak diperlukan pada saat proses perakitan berlangsung. Sehingga perlu dilakukan suatu perbaikan terhadap peta proses perakitan *stopcontact* 754. Pada desain awal *stopcontact* 754 terdapat 47 unit komponen penyusun produk yang membutuhkan waktu 15.52 menit untuk menyelesaikan setiap unit produk. Setelah dilakukan perbaikan terhadap desain *stopcontact* 754 dengan menggunakan metode DFMA melalui proses perbaikan, kombinasi dan eliminasi dari komponen penyusun produk seperti baut 3323-A dan 3323-AP, lempeng tembaga 7544 serta lempeng tembaga 7545, maka produk tersebut mengalami peningkatan dari segi waktu perakitan yaitu menjadi 12.484 menit untuk setiap unitnya yang terdiri dari 35 unit komponen, peningkatan pada efisiensi desain dan peningkatan pada jumlah produk standar yang dihasilkan adalah 33.64 unit. Hal ini berarti bahwa

desain produk hasil rancangan mengalami peningkatan sebesar 6.64 unit/hari. Adapun keterangan lebih lanjut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Rancangan dengan DFMA

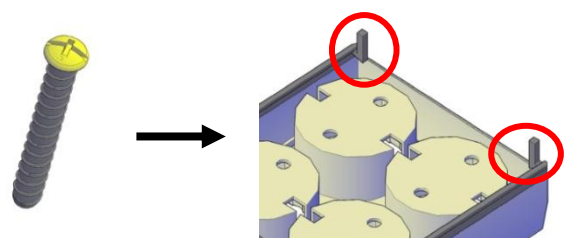
No	Design	Eff. Design	Jumlah Produk yang Dihasilkan	Jlh. Komp
1	Desain Awal	15.139%	27 Unit	47
2	Hasil DFMA	18.82%	33.64 Unit	35

Berdasarkan pada identifikasi terhadap komponen-komponen penyusun produk *stopcontact* seperti yang telah diuraikan pada Tabel 2, selanjutnya adalah melakukan perbaikan rancangan dengan menggunakan metode DFMA. Pada konsep desain awal, jumlah komponen kaleng *fixture* 7544 dan 7545 yang digunakan sebanyak 6 unit untuk setiap poduknya. Kemudian dilakukan perbaikan terhadap rancangan komponen kaleng *fixture* 7544 dan 7545 dengan cara melakukan kombinasi antara kedua komponen tersebut, sehingga dapat mengurangi jumlah serta variasi dari komponen yang akan dirakit yang bertujuan agar dapat mempermudah operator pada saat perakitan. Adapun gambar hasil rancangan dari kombinasi komponen kaleng *fixture* 7544 dan 7545 dapat dilihat pada Gambar 2.



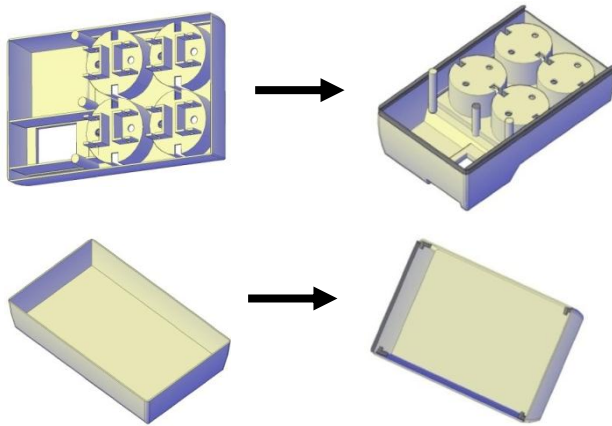
Gambar 2. Kombinasi Komponen 7545 dan 7545

Selanjutnya perbaikan dilakukan terhadap baut 3323-A dan baut 3323-AP. Pada konsep desain awal komponen tersebut digunakan untuk mengikat komponen *body* atas 754-A dan *body* bawah 754-B. Namun, penggunaan *fastener* pada proses perakitan memerlukan banyak waktu. Dan pada konsep desain usulan komponen baut 3323-A dan baut 3323-AP akan dieliminasi dan kemudian digantikan dengan menggunakan fitur penambat (*snap-fit*) berbentuk *lug* dan *track*. Adapun gambar hasil rancangan dari komponen pengganti baut 3323-AP dan 3323-A dapat dilihat pada Gambar 3.



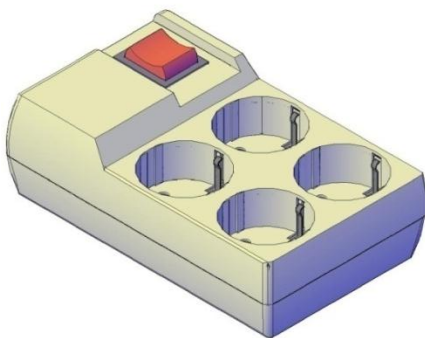
Gambar 3. Perubahan *Fasteners* (Baut) menjadi *Snap-Fit*

Perubahan *fasteners* menjadi *snap-fit* menyebabkan desain komponen *body* atas 754-A dan komponen *body* bawah 754-B juga berubah. Hal ini dikarenakan pada desain sebelumnya komponen tersebut menggunakan *fastener* berupa baut 3323-A dan baut 3323-AP. Adapun gambar hasil rancangan dari komponen *body* atas 754-A dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Perubahan pada Komponen 754-A dan 754-B

Dengan demikian hasil akhir rancangan perbaikan produk *stopcontact* dengan menggunakan metode DFMA dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Rancangan Akhir Produk *Stopcontact*

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa Desain baru *Stopcontact* 754 terdiri dari 35 komponen penyusun produk, karena ada beberapa komponen yang diperbaiki, dikombinasi dan dieliminasi sehingga rancangan produk *stopcontact* 754 bebas dari

komponen yang tidak mengandung nilai tambah. Dengan hasil rancangan ini proses perakitan menjadi lebih mudah dan waktu yang dibutuhkan lebih singkat untuk setiap unit produk jika dibandingkan dengan waktu perakitan yang diperlukan untuk merakit produk dengan desain yang lama. Hal ini menyebabkan biaya perakitan produk *stopcontact* yang pada awalnya dibutuhkan biaya perakitan sebesar Rp. 7500,-/unit, menjadi sebesar Rp. 6032.08,- pada rancangan produk baru. Untuk efisiensi desain perakitan dari desain awal produk *stopcontact* 754 adalah sebesar 15.139% dan jumlah produk standar yang dapat dihasilkan adalah 27 unit. Sedangkan efisiensi desain perakitan dari hasil rancangan produk *stopcontact* 754 adalah sebesar 18.82% dan jumlah produk standar yang dapat dihasilkan adalah 33.64 unit.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Afzan. 2010. *Product Design Improvement Through Design for Manufacturing and Assembly and Theory of Inventive Problem Solving*. Malaysia: UTM.
- Bonenberger, Paul. R. 2005. *The First Snap-Fit Handbook*. 2<sup>nd</sup> edition. USA: Hanser Publisher.
- Boothroyd, G., Dewhurst, P. dan Knight, W. 2002. *"Product Design for Manufacture and Assembly"* 2nd Edition. New York: Marcel Dekker.
- Eggert, Rudolph J. 2005. *Engineering Design*. Amerika : Pearson Prentice Hall.
- Magrab, Edward B. 2010. *Integrated Product and Process Design and Development: The Product Realization Process*. London : Taylor and Francis Group.
- Sinulingga, Sukaria. 2011. *Metodologi Penelitian*. Edisi 1. Medan : USU Press.
- Zainaf, Sharifah. 2010. *Integration of Design for Manufacturing and Assembly and Theory of Inventive Problem Solving for Design Improvement*. Malaysia: UTM.